

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. März 2001 (15.03.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/18370 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F02B 51/06, F02M 27/06**

[RU/RU]; Oktiabrski pr. Haus 4, Wohnung 1D2, Troitsk, Gebiet Moskau (RU). MONITCH, Evgeni [RU/RU]; Oktiabrski pr. Haus 4, Wohnung 102, Troitsk, Gebiet Moskau (RU).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/01751

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. Mai 2000 (30.05.2000)

(81) Bestimmungsstaat (national): US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

Veröffentlicht:

- Mit internationalem Recherchenbericht.
- Mit geänderten Ansprüchen und Erklärung.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Priority
claimed

(30) Angaben zur Priorität:
199 42 064.5 3. September 1999 (03.09.1999) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): KASSNER, Lydia [DE/DE]; Grazer Strasse 50, D-40789 Monheim am Rhein (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MONITCH, Anton

ABSTRACT FOR Reference:
DE 199 42 064 A1
(ATTACHED)

(54) Titel: MODE OF OPERATION OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: ARBEITSWEISE EINES VERBRENNUNGSMOTORS

(57) **Abstract:** The invention relates to piston, rotary and rotary-piston combustion engines with fuel-air mixture compression. The central point of the invention is the improvement of the known operating mode of internal combustion engines, whereby fuel-air mixture compression is carried out on the basis of alkanes and related fuels by a piston upstroke, with the formation of metastable intermediate products of hydrocarbon oxidation resulting from the beginning of the multistage low-temperature auto-ignition process and combustion of the mixture in the combustion chamber is guaranteed approximately at the highest dead center point in the rotation angle of the crankshaft so as to perform a useful operation during piston down-stroke. The improvement lies in the fact that the combustion of fuel-air mixture occurs throughout the multistage low-temperature auto-ignition process and up to the hot-flame stage, at the expense of destroying metastable intermediate products of hydrocarbon oxidation. The energy value of said intermediate products is not lower than the value of activation energy E_a of the decomposition reaction of said intermediate products wherein active radicals are formed.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft Kolben-, Rotor- und Rotorkolben-Verbrennungsmotore mit Verdichtung des Kraftstoff-Luft-Gemisches. Der Kernpunkt der Erfindung liegt in der Vervollkommenung der bekannten Arbeitsweise von Verbrennungsmotoren, bei der die Verdichtung des Kraftstoff-Luft-Gemisches auf der Basis von Alkanen und verwandten Kraftstoffen durch den Kolbenhub nach oben mit der Bildung von metastabilen Zwischenprodukten der Kohlenwasserstoffoxidation als Ergebnis des beginnenden Prozesses der mehrstufigen Niedrigtemperatur-Selbstzündung verwirklicht und die Gemischverbrennung in der Verbrennungskammer in der Nähe des höchsten Totpunktes im Drehungswinkel der Kurbelwelle zwecks Vollziehung der nützlichen Arbeit bei der Kolbenbewegung nach unten gewährleistet wird. Die Vervollkommenung besteht darin, daß die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches durch die Vollendung des Prozesses der mehrstufigen Niedrigtemperatur-Selbstzündung bis zur Heißflammenstufe auf Kosten der Zerstörung von metastabilen Zwischenprodukten der Kohlenwasserstoffoxidation als Ergebnis der Energieeinwirkung durchgeführt wird, deren Energiewert nicht niedriger als der Aktivationsenergiwert E_a der Zersetzungreaktion dieser Zwischenprodukte mit Bildung von aktiven Radikalen liegt.

WO 01/18370 A1



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ **Offenlegungsschrift**
⑯ **DE 199 42 064 A 1**

⑯ Int. Cl.⁷:
F 02 B 1/12
F 02 B 51/04
F 02 B 51/06

⑯ Aktenzeichen: 199 42 064.5
⑯ Anmeldetag: 3. 9. 1999
⑯ Offenlegungstag: 15. 3. 2001

⑯ Anmelder:
Kassner, Lydia, 40789 Monheim, DE

⑯ Erfinder:
Monitč, Anton, Troitsk, RU; Monitč, Evgeni, Troitsk, RU

⑯ Entgegenhaltungen:
DE 198 13 993 C1
DE 38 44 740 C2
DE 32 01 450 C2
DE 33 39 827 A1
DE 24 21 711 A
DE 15 76 211 A
DE 88 45 84 C
GB 15 36 675
US 38 30 621
EP 00 69 480 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Arbeitsweise eines Verbrennungsmotors

⑯ Die Erfindung betrifft Kolben-, Rotor- und Rotorkolben-Verbrennungsmotoren mit Verdichtung des Kraftstoff-Luft-Gemisches.

Der Kernpunkt der Erfindung liegt in der Vervollkommenung der bekannten Arbeitsweise von Verbrennungsmotoren, bei der die Verdichtung des Kraftstoff-Luft-Gemisches auf der Basis von Alkanen und verwandten Kraftstoffen durch den Kolbenhub nach oben mit der Bildung von metastabilen Zwischenprodukten der Kohlenwasserstoffoxidation als Ergebnis des beginnenden Prozesses der mehrstufigen Niedrigtemperatur-Selbstzündung verwirklicht und die Gemischverbrennung in der Verbrennungskammer in der Nähe des höchsten Toppunktes im Drehungswinkel der Kurbelwelle zwecks Vollziehung der nützlichen Arbeit bei der Kolbenbewegung nach unten gewährleistet wird.

Die Vervollkommenung besteht darin, daß die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches durch die Vollendung des Prozesses der mehrstufigen Niedrigtemperatur-Selbstzündung bis zur Heißflammenstufe auf Kosten der Zerstörung von metastabilen Zwischenprodukten der Kohlenwasserstoffoxidation als Ergebnis der Energieeinwirkung durchgeführt wird, deren Energiewert nicht niedriger als der Aktivationsenergiewert E a der Zersetzungreaktion dieser Zwischenprodukte mit Bildung von aktiven Radikalen liegt.

Als Energieeinwirkung wurde der Einsatz einer elektromagnetischen Strahlungsströmung oder Druckwelle mittels Mikrowellen-, Laser- oder Funkendurchschlag in die Gasstrecke des Kraftstoff-Luft-Gemisches mit dem ...

DE 199 42 064 A 1

DE 199 42 064 A 1

Beschreibung

Technik

Die Erfindung bezieht sich auf Kolben-, Rotor- und Rotorkolben-Verbrennungsmotoren mit der Verdichtung des Kraftstoff-Luft-Gemisches.

Der bisherige Technikstand

Die bis jetzt bekannten Verbrennungsmotoren unterteilen sich im Bezug auf das Zündungsprinzip auf Motoren mit Selbstzündung als Folge der Dieselverdichtung (1) und Motoren mit Funkenzündung (2). Solche Motoren unterscheiden sich auch in der Art des Kraftstoffs. In den Motoren mit Funkenzündung werden Benzinfraktionen in einigen Fällen leichte Kohlenwasserstoffe (Erdgas, Propan-Butan) und in den Dieselmotoren werden Solarölfractionen verwendet.

Die Selbstzündung des Kraftstoffes im Dieselmotor wird mit der Luftverdichtung durch die Kolbenbewegung nach oben und der Lufterwärmung durch die polytrope Verdichtung mit der darauffolgenden Einspritzung des flüssigen Kraftstoffes am Ende des Verdichtungstaktes in der Nähe des "höchsten Totpunktes im Drehungswinkel der Kurbelwelle" (HTP) erzeugt. Der Verdichtungsgrad der Luftladung ϵ und die Kraftstoffzusammensetzung sind so zusammengebracht werden, dass die Induktionszeit τ_Σ , d. h. die Selbstzündungs-Verzögerung für diesen Kraftstoff, einen kleinen Teil der Arbeitszyklus-Zeit des Motors ausmacht. Die Kraftstoffeinspritzung wird vor dem HTP vorgenommen und wird sowohl vor dem als auch nach dem HTP zu Ende gebracht. Innerhalb der Induktionszeit τ_Σ finden nach dem Beginn der Kraftstoffeinspritzung physikalische Vorgänge der Kraftstoffzerstäubung in der verdichteten und erwärmten Luft, Vermischung und Teilverdampfung der Kraftstoff-Tropfen statt, sowie entwickeln sich chemische Vorflammenreaktionen der Kraftstoff-Oxidation. Am Ende dieser Periode entstehen die ersten Selbstzündungsherden und die neuen dazugekommenen Kraftstoffportionen werden mit bereits brennenden Gasen vermischt und entflammt.

Um eine hocheffektive Verbrennung in Dieselmotoren zu gewährleisten, welche innerhalb einer breiten Palette von Geschwindigkeiten und Belastungen sowie mit schlecht zündenden oder verdampfenden Kraftstoffen eingesetzt werden, sind spezielle Maßnahmen zwecks einer normalen Gemischbildung und Zündung notwendig. Das ist ein schwer zu lösendes Problem und obwohl Dieselmotoren mit einem hohen Luftüberschuss arbeiten, ist es oft nicht möglich, eine nicht vollständige Kraftstoffverbrennung bis zur Rußbildung zu vermeiden. Das ist ein Nachteil von Dieselmotoren.

In den bekannten Verbrennungsmotoren mit Funkenzündung wird das vorher vorbereitete Kraftstoff-Luft-Gemisch durch den Kolbenhub nach oben verdichtet und danach mittels Elektrofunkens in der Nähe von HTP gezündet. Während der Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches erhöhen sich die Temperatur und der Druck des Gases im Zylinder. Während der Gasdehnung und Kolbenbewegung nach unten wird nützliche Arbeit geleistet. Ähnliches geschieht in Rotor- und Rotorkolben-Verbrennungsmotoren.

Die Arbeitsweise des Motors mit Funkenzündung ist in deren technischen Ausführung am besten der Erfindung ähnlich und wurde als Prototyp gewählt.

Beschreibung des Prototyps

Die maximale von einem Motor zu entwickelnde Leistung wird unter maximaler Geschwindigkeit der Flammen-

ausbreitung und Wärmefreisetzungssintensität erreicht, welche aufbereiteten Gemischen mit $\alpha = 0,85-0,9$ entsprechen, wo α als Faktor für Luftüberschuss auftritt und dem Verhältnis zwischen der Luftmenge im Kraftstoff-Luft-Gemisch und der theoretischen für die volle Verbrennung notwendigen Luftmenge, d. h. entsprechend dem stöchiometrischen Verhältnis gleich ist.

Bei der Magerung des Kraftstoff-Luft-Gemisches bis oberhalb einiger Grenzwerten, welche von jeweiliger Motorkonstruktion, Motorbelastung und dem Verdichtungsgrad abhängig sind, entwickelt sich die Verbrennung in den Arbeits-Reihenzyklen unterschiedlich, was mit der Bedingungsverschlechterung der Funkenbildung in mageren Gemischen und Flammenausbreitung in solchen Gemischen zusammenhängt. Der Motor arbeitet instabil.

Bei der Verminderung der Motorbelastung durch die Drosselung vermindert sich der Anfangs- und Endverdichtungsdruck und erhöht sich der Verdünnungsgrad des Kraftstoff-Luft-Gemisches mit Restgasen, was auch zu einer wesentlichen Verschlechterung der Funkenzündbedingungen und Bildung einer Anfangs-Verbrennungsstätte führt. Die Verbrennung wird weniger stabil. Eine stabilere Funkenzündung wird bei der Gemischaufbereitung bis zu $\alpha = 0,8-0,85$ gewährleistet. Dabei wird aber eine Zeitausdehnung der Verbrennung beobachtet. Dieser instabiler Verbrennungsverlauf innerhalb niedriger Belastungen und die daraus resultierende Gemischaufbereitung sind die Hauptnachteile der Funkenzündmotoren. Diese Nachteile haben als Folge Erhöhungen des Kraftstoffverbrauches und des Anteils von CO und nicht vollständig abgebrannten Kohlenwasserstoffen C_mH_n in den Abgasen.

Mit der Erhöhung des Verdichtungsgrades ϵ verbessern sich die Verbrennungsbedingungen des Kraftstoff-Luft-Gemisches und erhöhen sich dementsprechend thermodynamischer Faktor (Wirkungsgrad), Wirtschaftlichkeit und Leistung des Motors.

Die Erhöhung aber des Verdichtungsgrades bis oberhalb eines bestimmten Wertes wird durch eine Detonationsbildung begrenzt, d. h. durch eine solche Störung der normalen Verpuffungsverbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches, währenddessen eine explosionsartige Selbstzündung von Restteilen des Kraftgemisches stattfindet. Bei der intensiven Detonation sinkt die Motorleistung und entsteht schwarzer Rauch in den Abgasen, es können auch Zerstörungen an den Kolben- und Schubkurbelteilen auftreten.

Ein anderes wesentliches Parameter, das die Detonationsneigung darstellt, ist die zu verwendende Kraftstoffart. Die Antidetonationsbeständigkeit des Kraftstoffes wird von der Oktanzahl gekennzeichnet. Je höher die Oktanzahl, desto besser passt der Kraftstoff zu dem Funkenzündmotor, desto größerer Verdichtungsgrad im Motor ohne Detonationsrisiko verwirklicht werden kann. Der Einsatz von hochkondensierten Isoparaffinen als Kraftstoff machte es möglich, dass der Verdichtungsgrad in solchen Motoren bis zu $\epsilon = 10-11$ erreicht wurde, aber eine weitere Entwicklung fordert Einsatz von unkonventionellen und teueren Kraftstoffen.

Es ist bekannt, daß der Selbstzündungsprozess von Alkanen und verwandten Kraftstoffen, d. h. von solchen, die in Verbrennungsmotoren eingesetzt werden, ein mehrstufiger Prozess ist, der drei Folgestufen mit der Bildung von sogenannten Kalt-, Blau- und Heißflammen verläuft (3, 4). Die Kalt- und Blauflammen sind Stufen mit Teilausscheidungen der chemischen Enthalpie (ca. 3% bei der Kaltflamme und ca. 30% bei der Blauflamme). Aber im Verlauf jeder der Stufen werden Bedingungen zum Ablauf der nächsten Stufe der Selbstzündung geschaffen. In der Endstufe der Selbstzündung, in der Heißflammenstufe, wird bei der stöchiometrischen Zusammensetzung des Kraftstoff-Luft-Gemisches der

Restteil der chemischen Enthalpie ausgeschieden.

Die typische Besonderheit eines solchen Prozesses ist die Induktionszeit jeder Stufe, deren Laufzeit von der Intensität der vorherigen Stufe abhängig ist. Es sieht so aus, als ob der Prozess sich innerhalb einer bestimmten Phase stabilisiert, die die Induktionszeit für die nächste Stufe darstellt, und dann ein scharfer Übergang zur neuen Stufe erfolgt. Daher gleicht die gesamte Induktionszeit der Selbstzündung der Summe der Induktionszeiten jeder Prozess-Stufe:

$$\tau_{\Sigma} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3,$$

wobei

τ_1 – die Induktionszeit der Kaltflamme darstellt,

τ_1 – die Induktionszeit der Blauflamme darstellt,

τ_1 – die Induktionszeit der Heißflamme darstellt.

In der Regel ist τ_1 klein, daher wird die Selbstzündung als Zweistufenprozess mit einer Verzögerung dargestellt:

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{cf} + \tau_{hf},$$

wobei

$$\tau_{ch} = \tau_1; \tau_{hf} = \tau_2 + \tau_3.$$

Aus dem Bild 1 ist es ersichtlich, daß in den Verbrennungsmotoren mit der Verdichtung des Kraftstoff-Luft-Gemisches die Werte P_c und T_c am Ende des Verdichtungstaktes, die sich auf der V-Kurve befinden, in den Verdichtungsbereich des Kraftstoff-Luft-Gemisches und der Anfangsdruckwerte P_0 bis zu $\varepsilon = 16-18$ und $P_0 = 0,9$ und höher gelangen.

Dies zeigt, daß während des Verdichtungstaktes in den Verbrennungsmotoren mit Funkenzündung ein Prozess der mehrstufigen Selbstzündung infolge der Verdichtung beginnt.

Dennoch kann dieser Prozess die Endstufe der Selbstzündung – die Stufe der Heißflamme, unter den Bedingungen des Arbeitszyklus des Verbrennungsmotors wegen reichlich langen Induktionszeiten nicht erreichen, die charakteristisch für verwendbare Kraftstoffarten und P_c und T_c sind. Aus diesem Grunde wird zwecks Realisierung des Arbeitszyklus der Verbrennungsmotore, der die vollständige Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches erfordert, die Haupteigenschaft der Heißflamme benutzt, d. h. die spontane Ausbreitung im Heißgemisch, wenn in diesem mit Hilfe einer Zündvorrichtung, z. B. mittels E-Funke, ein Anfangs-Zündherd entsteht.

Der normale Ablauf der Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches, genannt Deflagration und mit einer relativ langsam Flammenausbreitung verbunden, wird dadurch gekennzeichnet, daß während des Prozesses noch nicht von der Flamme erfassbare Bereiche und solche mit bereits verbranntem Gemisch existieren, und die Grenze dazwischen – die Flammenfront ist, d. h. die enge Zone, in der in diesem Augenblick die Verbrennung des Kraftstoffes stattfindet. Parallel zu der normalen Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches werden in den noch nicht von der Flamme erfassten Raumteilen die chemischen Reaktionen der sich entwickelten mehrstufigen Selbstzündung fortgesetzt. Während der normalen Kraftstoff-Luft-Gemisch-Verbrennung erfolgt eine intensive Temperatur- und Drucksteigerung, der Prozess der mehrstufigen Selbstzündung in den nicht verbrannten Raumteilen wird intensiviert. Unter einigen Bedingungen kann sich der Ablauf bis zur Stufe der explosiven Zersetzung von Hyperoxyden und weiter bis zum Auftreten der Blauflamme steigern, der sich immer in die Richtung der Heißflammenfront und hohen Temperaturen ent-

wickelt. Da die Entwicklung der Blauflamme im bereits in der Kaltflammenstufe vorbereiteten Medium geschieht, und bei höheren Temperaturen die Oxidationsreaktionen von Aldehyden beschleunigt werden, findet die chemische Beschleunigung der Blauflamme in die Temperaturgradient-Richtung statt, entstehen Gasenmassenströme und Druckwellen, die als "Klopfen" wahrgenommen und Detonation genannt werden. Da in den Blauflammen nur ein Teil der chemischen Enthalpie des Kraftstoffes (ca. 0,3) ausgeschieden

10 wird, und die das Auftreten der Blauflamme begleitenden Gasenmassenströme die Heißflammenfront zerstören, wird die normale Verbrennung unterbrochen. Aus diesem Grunde kann der merkliche Teil des Kraftstoffes nicht zu den Endverbrennungsprodukten verbrennen, sinkt die 15 Leistung des Motors und befindet sich in den Abgasen ein hoher Anteil an toxischen Produkten nicht vollständiger Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches.

Die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches mittels Selbstausbreitung der Flammenfront in der Verbrennungskammer vor dem Hintergrund der sich entwickelten mehrstufigen Niedrigtemperatur-Selbstzündung stellt so gesehen den Grund für die Detonation und Begrenzung des Verdichtungsgrades in Verbrennungsmotoren mit Funkenzündung dar, was, wie bereits erwähnt, eine Steigerung des Wirkungsgrades, der Leistung und Wirtschaftlichkeit nicht möglich macht.

Die Erfindung

30 Als technisches Ergebnis der Erfindung wird die mögliche Erhöhung des zulässigen Verdichtungsgrades bis zu den Werten $\varepsilon > 11$ dargestellt, die Steigerungen des thermodynamischen Wirkungsgrades, der Leistung und Wirtschaftlichkeit des Motors ermöglicht, sowie den Einsatz von mageren 35 Kraftstoff-Luft-Gemischen, deren vollständige Verbrennung in allen Arbeitsbereichen, einschließlich auch unter niedrigeren Belastungen, und als Folge dieser vollständigen Verbrennung – Erhöhungen von Drehmomenten in Motoren, Kraftstoffersparnissen und Senkungen der Schadstoffemissionen in den Abgasen.

30 Dies wird durch die Vervollkommenung der bekannten Arbeitsweise eines Verbrennungsmotors erreicht, indem die Verdichtung des Kraftstoff-Luft-Gemisches mittels des Kolbenhubes nach oben mit der Bildung von metastabilen Zwischenprodukten der Kohlenwasserstoffoxidation verwirklicht und die Gemischverbrennung in der Verbrennungskammer in der Nähe des höchsten Toppunktes in dem Drehungswinkel der Kurbelwelle zwecks Vollziehung der nützlichen Arbeit bei der Kolbenbewegung nach unten gewährleistet wird.

35 Die Vervollkommenung besteht darin, daß die Kraftstoff-Luft-Gemisch-Verbrennung als Ergebnis der Vollziehung der mehrstufigen Niedrigtemperatur-Selbstzündung bis zur Heißflammenstufe infolge der Zerstörung der metastabilen Zwischenprodukte der Kohlenwasserstoffoxidation durch eine Energieeinwirkung erfolgt, deren Energiewert nicht niedriger als Aktivationsenergiewert E_a der Zersetzungreaktion dieser Zwischenprodukte mit der Bildung von aktiven Radikalen liegt. Als Energieeinwirkung kann eine elektromagnetische Strahlungsströmung gewählt werden. Die Energieeinwirkung kann auch durch eine Druckwelle erfolgen, die mittels Mikrowellen-, Laser- oder Funkendurchschlag in die Gasstrecke in der Verbrennungskammer mit dem Energiewert verursacht wird, der oberhalb des minimalen Energiewertes liegt, der für die Bildung der stationären Detonationswelle der Kaltflammenstufe notwendig ist, und unterhalb des oberen kritischen Energiewertes liegt, der den Prozess aus dem Bereich der mehrstufigen Niedrig-

temperatur-Selbstzündung in den Bereich der einstufigen Hochtemperatur-Selbstzündung überführt.

Als Alternative kann die Energieeinwirkung mit Hilfe einer Druckwelle erfolgen, die durch Mikrowellen-, Laser- oder Funkendurchschlag in die Gasstrecke im Kraftstoff-Luft-Gemisch mit dem Energiewert verursacht wird, der unterhalb des minimalen Energiegrenzwertes liegt, der zwecks Schaffung der stationären Detonationswelle der Kaltflammenstufe notwendig ist.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird im weiteren anhand eines konkreten Realisierungsbeispiels und der Zeichnungen, Bild 1, 2 erklärt.

In dem Bild 1 werden Bereichsgrenzen von unterschiedlichen Selbstzündungsarten dargestellt: I – einstufiger Hochtemperatur-Selbstzündungsbereich; II – mehrstufiger Niedrigtemperatur-Selbstzündungsbereich; III – Übergangsbereich; IV – Kaltflammen-Bereich; V – P_c - und T_c -Parameter-Linie am Ende des Verdichtungstakts des stöchiometrischen Kraftstoff-Luft-Gemisches mit dem Polytropen-Wert $\gamma = 1,35$.

In dem Bild 2 sind Änderungen der Parameter P_c und T_c in der Anfangsphase der Entwicklung des Arbeitsprozesses gemäß der Erfindung.

Die beste Realisierungsvariante der Erfindung

Der Verbrennungsmotor arbeitet wie folgt. Als Folge des Kolbenhubes nach oben erfolgt die Verdichtung des Kraftstoff-Luft-Gemisches. Die Parameter des Prozesses P_c , T_c , ϵ und Oktanzahl des Kraftstoffes sind dabei so gewählt, dass die Induktionszeit der Kaltflamme τ den Verdichtungstakt bei allen zulässigen Arbeitsweisen des - Verbrennungsmotors überdauert. Infolge der Verdichtung und Erwärmung des Kraftstoff-Luft-Gemisches bilden und sammeln sich die primären Produkte der nichtvollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen: Peroxyde, Aldehyden, Diketone u. a. Die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches in der Verbrennungskammer wird als Überführung der mehrstufigen Selbstzündung in die Stufe der Heißflamme aufgrund der Molekulenzersetzung der gesammelten metastabilen Zwischenprodukte der Kohlenwasserstoffoxidation verwirklicht. Diese Zersetzung wird durch eine Energieeinwirkung im Zeitpunkt synchron mit dem höchsten Totpunkt erreicht, und der Wert dieser Energieeinwirkung ist nicht weniger als der maximale Wert der Aktivationsenergie E_a der Zersetzungsreaktionen der Zwischenprodukte mit der Bildung von aktiven Radikalen, der immer unterhalb des Energiegrenzwertes E_f der Entwicklung der stationären Detonation in der Kaltflammenphase liegt.

Realisierungsbeispiel

Als Beispiel wird der Ablauf der mehrstufigen Niedrigtemperatur-Selbstzündung mit der Zersetzung der Zwischenprodukte der Kohlenwasserstoffoxidation im Falle von Peroxyden als Zwischenprodukt beschrieben. Aber genauso würden auch Beispiele mit anderen Zwischenprodukten ablaufen, d. h. mit Aldehyden und Diketonen, die unter bestimmten Bedingungen z. B. in der Übergangsphase III, Bild 1, entstehen.

Die Gesamtgeschwindigkeit eines komplizierten Ablaufs wird durch die langsamste Phase des Ablaufs bestimmt. Für die mehrstufige Selbstzündung von Alkanen und verwandten Produkten infolge der Verdichtung ist diese langsamste Phase die entartete Kettenverzweigung über Zwischenpro-

dukte der Kohlenwasserstoffoxidation. Diese Kettenverzweigung wird von den aktiven Radikalen der Peroxydenzersetzung verursacht. Die Lebenszeit der Peroxyde t_p ist von der Aktivationsenergie E_a deren Zersetzungsreaktion

5 und von den Außenbedingungen – vom Druck P und Temperatur T abhängig. Für Reaktionen mit entarteter Kettenverzweigung übersteigt die durchschnittliche Lebenszeit von metastabilen Zwischenprodukten wesentlich die charakteristischen Ablaufzeiten von anderen elementaren Reaktionen aus den Reaktionsreihen der Kohlenwasserstoffoxidation. Dies führt zu der Anhäufung von Peroxyden im Kraftstoff-Luft-Gemisch bis zu einer kritischen Konzentration N_M , bei der die Zahl der Kettenverzweigungen für die notwendige Ablaufbeschleunigung ausreichend ist. Bis zu 10 diesem Augenblick stabilisiert sich praktisch die Oxidationsgeschwindigkeit auf einer bestimmten Höhe und erhöht sich langsam, aber langsamer als es für die explosive Beschleunigung des Ablaufs und den Übergang zu der nächsten Selbstzündungsstufe notwendig wäre. Diese Phase bestimmt die Induktionszeit der Kaltflamme τ_{cf} . So gesehen, 15 ist die oben angeführte relative Stabilität der Peroxyde der Hauptgrund für die zurückhaltende Reaktionsentwicklung und den Übergang zur Selbstzündung.

Die Erfüllung der Bedingung $\tau_{cf} > \tau_c$, wobei τ_c die Taktzeitdauer der Verdichtung des Arbeitszyklus des Verbrennungsmotors ist, bedeutet, dass die Konzentration von Peroxyden N_c zu der Zeit der Beendigung der Heißgemischverdichtung kleiner einer kritischen Größe ist, bei der die spontane Zersetzung der Peroxyde stattfindet: $N_c < N_M$. Da diese Zeit-

20 phase der Induktionszeit der Kaltflamme entspricht, in der die Peroxydenanhäufung bis zu der kritischen Konzentration anwächst, ist es zwecks Entwicklung der Selbstzündung notwendig die Peroxydenmoleküle zu zerstören. Bei dieser Zersetzung verursachen die dabei in großen Mengen entstehenden freien Radikale die lawinenartige Beschleunigung der folgenden Reaktionen der Kohlenwasserstoffoxidation und führen die Selbstzündung in die zweite Stufe – die Kaltflammenstufe. Die Kaltflammenreaktionen sind bei der Zersetzung der Peroxydenmoleküle sehr intensiv.

25 Diese Ablaufphase, die die Induktionszeit der Blauflammenstufe darstellt, endet wesentlich schneller als der Ablauf ohne Zwangserstörung der Peroxyde. Die Induktionszeit der Blauflammenstufe wird genügend kurz werden und die Zeitverzögerung zwischen dem Augenblick der Peroxydenzerstörung und dem Erscheinen der Heißflamme wesentlich kürzer ausfällt als die Dauer des Verdichtungstaktes. Auf diese Weise erlaubt die Zersetzung von Peroxydenmolekülen in der Nähe zum aber vor dem höchsten Totpunkt die Selbstzündung praktisch im höchsten Totpunkt zu beenden.

30 35 40 45 50 Diese intensive und ausreichend vollständige Zersetzung von Peroxydenmolekülen kann unter unterschiedlichen Energieeinwirkungen verwirklicht werden, zum Beispiel mittels elektromagnetischer Strahlung, welche die Photospaltung der Moleküle erregt.

55 Die Zersetzung von Peroxyden kann auch durch eine Druckwelle im Kraftstoff-Luft-Gemisch verursacht werden. Die Druckwelle selbst kann auch unterschiedlich ausgelöst werden, z. B. mittels eines Mikrowellen-, Laser- oder Funkendurchschlag in die Gasstrecke in der Verbrennungskammer. Die Druckwellenenergie muss in diesem Fall für die Peroxydenzerstörung im Grenz-Volumen V_t ausreichend sein. Dann setzen die exothermischen Reaktionen im Volumen V_t ausreichende für die Speisung der Druckwelle und ihre Ausbreitung im Kraftstoff-Luft-Gemisch Energie frei. Das Existieren des Grenz-Volumens V_t wird dadurch erklärt, dass die für die Molekulenspaltung notwendige Erregung von Schwingungspegeln der Peroxydenmoleküle nur als Ergebnis von mehreren Molekulenzusammen-

stoßen möglich ist.

Wenn der Energiewert der Druckwelle unterhalb des für die Zerstörung von Zwischenprodukten im Grenz-Volumen V_t notwendigen liegt, dann kann sich der Zerstörungsablauf nicht in dem vollen Volumen des Kraftstoff-Luft-Gemisches ausbreiten, sondern wird nur im Volumen $V_0 < V_t$ lokalisiert. Dabei entwickelt sich schnell die mehrstufige Selbstzündung im Volumen V_0 zur Heißflammenphase. Dieser Volumen ist der Anfangspunkt der Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches mit der darauffolgenden Heißflammenausbreitung im Rest-Volumen. Dieser Prozess mit der Teil-Selbstzündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches mit der dar-auffolgenden Deflagrationsverbrennung dessen Rest-Volumens erlaubt keine vollständige Realisierung der Vorteile des vorgeschlagenen Verfahrens, aber gewährleistet eine wesentliche positive Wirkung im Vergleich mit dem Prototyp.

Der Grenzwert der Druckwelle E_t wird geschätzt. Nach dem Passieren der Druckwellenfront erregen sich praktisch sofort Translations- und Rotations-Freiheitsgrade. Unter den zu betrachtenden Bedingungen sind für die Erregung der Schwingungspegel ca. 10^6 Zusammenstöße notwendig, für die wiederum ca. 10^{-5} s notwendig sind. Erst nach Ablauf dieser Zeit kommt die Spaltung der Hyperoxydmoleküle und die Energiefreisetzung in den chemischen Reaktionen. Während dieser Zeit breitet sich die Druckwelle in einer Entfernung $r_t = \text{ca. } 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ aus. Für einen symmetrischen sphärischen Fall der Druckwellenausbreitung beträgt das Volumen $V_t = 4\pi r_t^3/3$ und Gasgewicht in diesem Volumen - ca. $(0,3-0,8)10^{-2} \text{ g}$ (in Abhängigkeit von P). Der Energiewert für die Erwärmung dieses Gasvolumens bis zu $\Delta T = \text{ca. } 50^\circ\text{C}$ beträgt $10-30 \text{ Millijoule}$, was die Schätzung des unteren Energiewertes der Druckwelle E_t ergibt. Im Falle der Begrenzung des Ausbreitungsraums der Druckwelle, z. B. durch die Fokussierung, kann der Wert E_t fast auf eine Größenordnung gesenkt werden. Daraus ergibt sich $E_t' = \text{ca. } 2-5 \text{ Millijoule}$. Der Prozess, in dem die Druckwelle Energiefreisetzungsreaktionen verursacht, und diese Energiefreisetzung die Druckwelle speist, so dass die Verluste der Verdichtung und zusätzlichen Erwärmung des Mediums der Druckwellenausbreitung kompensiert werden, stellt die Detonationswelle dar.

In dem zu betrachtenden Fall muss die Druckwelle so sein, dass kein Übergang der Parameter $P_c'; T_c'$ aus dem Bereich der mehrstufigen Selbstzündung in den Bereich I (Bild 1) der einstufigen Hochtemperaturzündung verursacht werden kann. Dies hervorruft Begrenzungen für die Amplitude der Druckwelle, z. B. für das Verhältnis P_f/P_c , wo P_f - Gasdruck in der Druckwellenfront und P_c - Gasdruck vor der Druckwellenfront darstellt.

Um die stationäre Detonationswelle entstehen zu lassen, sind die Energieverluste der Druckwelle durch die exothermischen Reaktionen zu kompensieren. In der Kaltflammenstufe werden ca. 3% der chemischen Enthalpie des Kraftstoffes freigesetzt, was einer Temperaturerhöhung im Kraftstoff-Luft-Gemisch um ca. 50°C entspricht. D. h., dass die Temperaturerhöhung in der stationären Detonationswellenfront ca. 50°C nicht überschreiten kann. Für Temperaturen T_c , die für den zu betrachtenden Fall charakteristisch sind, entspricht solche Temperaturerhöhung dem Verhältnis $P_f/P_c = \text{ca. } 1,4$. Diese Druckwelle ist schwach und kann keine nennenswerte Gasenmassenströme hervorrufen.

Der Ablauf wird mit Hilfe des Bildes 2 erklärt. In diesem Bild ist das Verhältnis der Werte $P_c; T_c$ am Ende des Verdichtungstaktes des Verbrennungsmotors mit der stöchiometrischen Zusammensetzung des Kraftstoff-Luft-Gemisches (Polytropenwert $\gamma = 1,35$) dargestellt. Nehmen wir an, dass die Werte P_c^A und T_c^A beim gegebenen Verdichtungs-

grad ϵ und Anfangsdruck P_0, C_0 dem Punkt A entsprechen, dann werden die Werte P_c^C und T_c^C in der Druckwellenfront dem Punkt C entsprechen. Der Punkt C befindet sich in der Temperatur höher als Punkt B, weil die Temperatur in der Druckwellenfront bei der "Druckverdichtung" höher liegt, als solche unter der polytropen Verdichtung bis dem gleichen Druckwert. Da die Druckwelle schwach ist, wird nach dem Durchgang ihrer Front der Druck bis zu ca. P_c fallen und die Temperatur um ca. ΔT höher als die Anfangstemperatur liegt (Punkt D im Bild 2).

Die Erfüllung der oben genannten Begrenzungen für ΔT und ΔP führt dazu, dass in der Detonationswellenfront die Kaltflammenstufe realisiert wird, und der Übergang zu der Blauflammen- und Heißflammenstufe zwar ausreichend rasch erfolgt, aber von der Zeit des Passierens der Druckwellenfront durch so eine Zeitdauer getrennt wird, dass diese Abläufe keinen Einfluss auf die Detonationswelle haben. Die Detonationswelle überführt die Selbstzündung sozusagen in eine neue Stufe, wo diese Selbstzündung sich unter veränderten Bedingungen entwickelt und zwar: $P_c' P_c; T_c' = T_c + \Delta T$; dazu noch "eine große Zahl der Kettenreaktionsverzweigungen". Man kann sagen: es erfolgt die Peroxyd-Detonation im Kraftstoff-Luft-Gemische. Die sich infolge der Peroxydzerersetzung bildenden aktiven Radikale verursachen neue Verzweigungen der chemischen Reaktionen zur Bildung von aktiven Radikalen aus Peroxyden und Aldehyden. Es finden Fragmentierungsprozesse der Kohlenwasserstoffmoleküle statt, es bilden sich Formaldehyd und die Wärme bis zu der Konzentration, die für den Übergang in die nächste Prozessphase notwendig ist. Als Ergebnis geht die Selbstzündung rasch in die nächste Stufe über und endet in der Heißflammenstufe, in der die restliche chemische Enthalpie des Kraftstoff-Luft-Gemisches freigesetzt wird.

Die oben beschriebenen Abläufe wiederholen sich der Reihe nach in allen Zylindern des Verbrennungsmotors.

Industrieanwendung

Die vorgeschlagene Erfindung gewährleistet die mit der 40 Phase des höchsten Totpunktes synchronisierte Selbstzündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches aus Benzin- und schwereren Kraftstoff-Fraktionen, sowie anderer Kraftstoffarten mit mehrstufiger Selbstzündung, sowie eine Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches ohne Heißflammen-Frontausbreitung. Dies erlaubt die Erhöhung des zulässigen Verdichtungsgrades ϵ bis zu Werten $\epsilon > 11$, was zu den oben aufgeführten Vorteilen im Vergleich zum Prototyp führt.

Quellennachweis

50 1. Levis B, Elbe G. Combustion, Flames and Explosions of Gases, New York - London, Academic Press, 1961
 2. Automotoren, Redaktion Khovakh M.S. M., Maschinenbau 1977
 45 3. Rogener H.Z. Elektrochem., 53, 389 (1949)
 4. Sokolik A. C. Selbstzündung, Flamme und Detonation in Gasen, Ausgabe der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, S. 120-143 (1960).

Patentansprüche

65 1. Die Arbeitsweise eines Verbrennungsmotors, bei der durch Kolbenbewegungen die Verdichtung des Kraftstoff-Luft-Gemisches auf der Basis von Alkanen und verwandten Kraftstoffen mit der Bildung von metastabilen Zwischenprodukten der Kohlenwasserstoff-oxidation als Ergebnis des beginnenden Prozesses der mehrstufigen Niedrigtemperatur-Selbstzündung erfolgt

und die Gemischverbrennung in der Verbrennungskammer in der Nähe des Totpunktes im Drehungswinkel der Kurbelwelle zwecks Vollziehung der nützlichen Arbeit bei der Kolbenbewegung nach unten gewährleistet, unterscheidet sich dadurch, daß die Kraftstoff-Luft-Gemisch-Verbrennung durch die Vollendung des Prozesses der mehrstufigen Niedrigtemperatur-Selbstzündung bis zur Heißflammenstufe auf Kosten der Zerstörung von metastabilen Zwischenprodukten der Kohlenwasserstoffoxidation als Ergebnis der Energieeinwirkung verwirklicht wird, deren Größe nicht niedriger als Aktivationsenergie E_a der Zersetzungsreaktion dieser Zwischenprodukte mit der Bildung von aktiven Radikalen liegt.

2. Die Arbeitsweise des Verbrennungsmotors nach Anspruch 1, unterscheidet sich dadurch, daß als Energieeinwirkung elektromagnetische Strahlungsströmung eingesetzt wird.

3. Die Arbeitsweise des Verbrennungsmotors nach Ansprüchen 1 und 2, unterscheidet sich dadurch, daß die Energieeinwirkung mittels einer Druckwelle verwirklicht wird, die mit Hilfe eines Mikrowellen-, Laser- oder Funkendurchschlages in die Gasstrecke im Kraftstoff-Luft-Gemisch geschaffen wird, und zwar mit der Energie, deren Wert höher als minimaler Energiegrenzwert liegt, der zwecks Bildung der stationären Detonationswelle der Kaltflammenstufe notwendig ist, und niedriger als oberer kritischer Energiewert, der den Prozess aus dem Bereich der mehrstufigen Niedrigtemperatur-Selbstzündung in den Bereich der einstufigen Hochtemperatur-Selbstzündung überführt.

4. Die Arbeitsweise des Verbrennungsmotors nach Ansprüchen 1 bis 3, unterscheidet sich dadurch, daß die Energieeinwirkung mittels einer Druckwelle verwirklicht wird, die mit Hilfe eines Mikrowellen-, Laser- oder Funken-Durchschlages in die Gasstrecke des Kraftstoff-Luft-Gemisches mit dem Energiewert unterhalb eines minimalen Grenzwertes geschaffen wird, der zwecks Bildung einer stationären Detonationswelle der Kaltflammenstufe notwendig ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

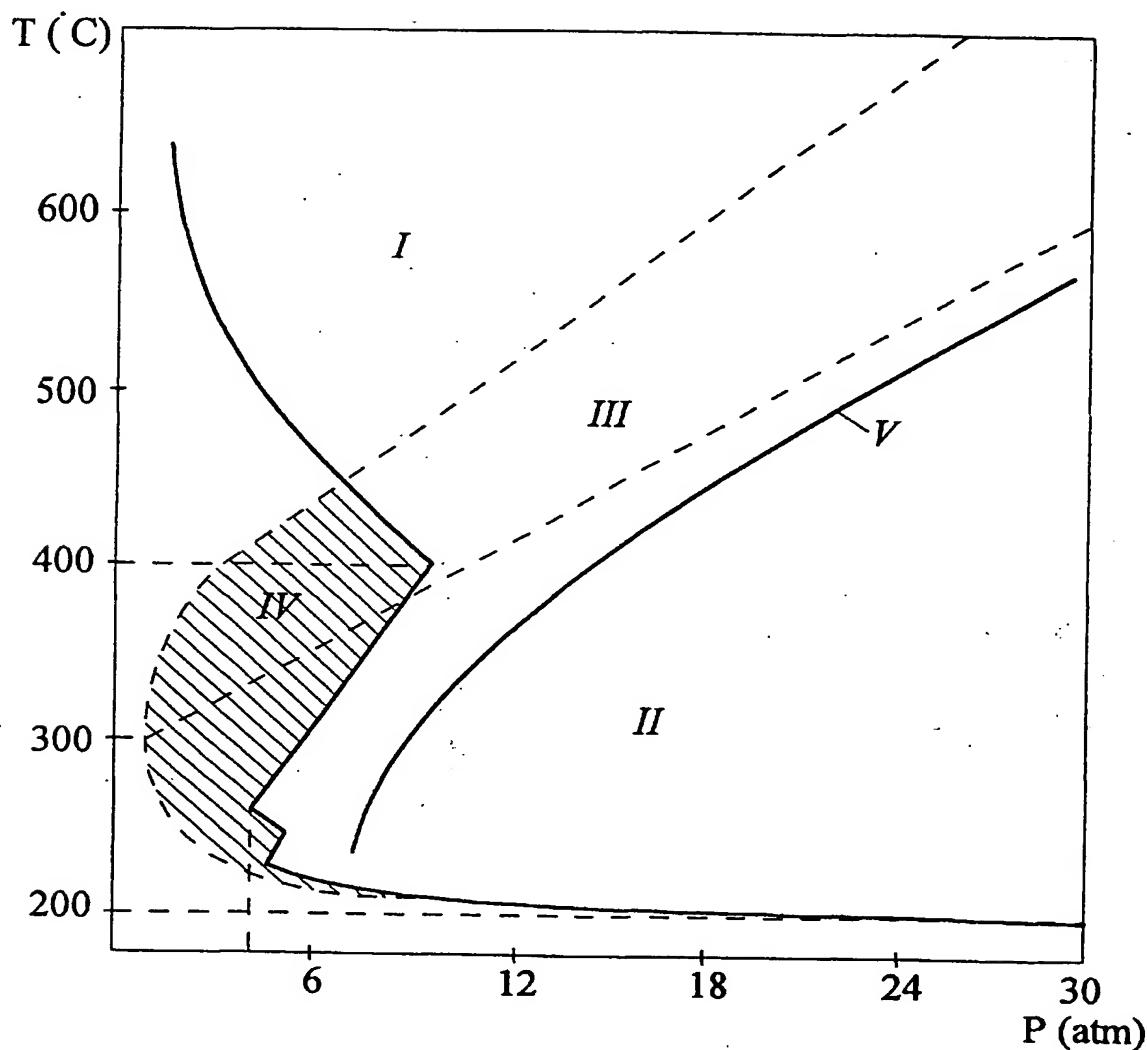


Fig. 1

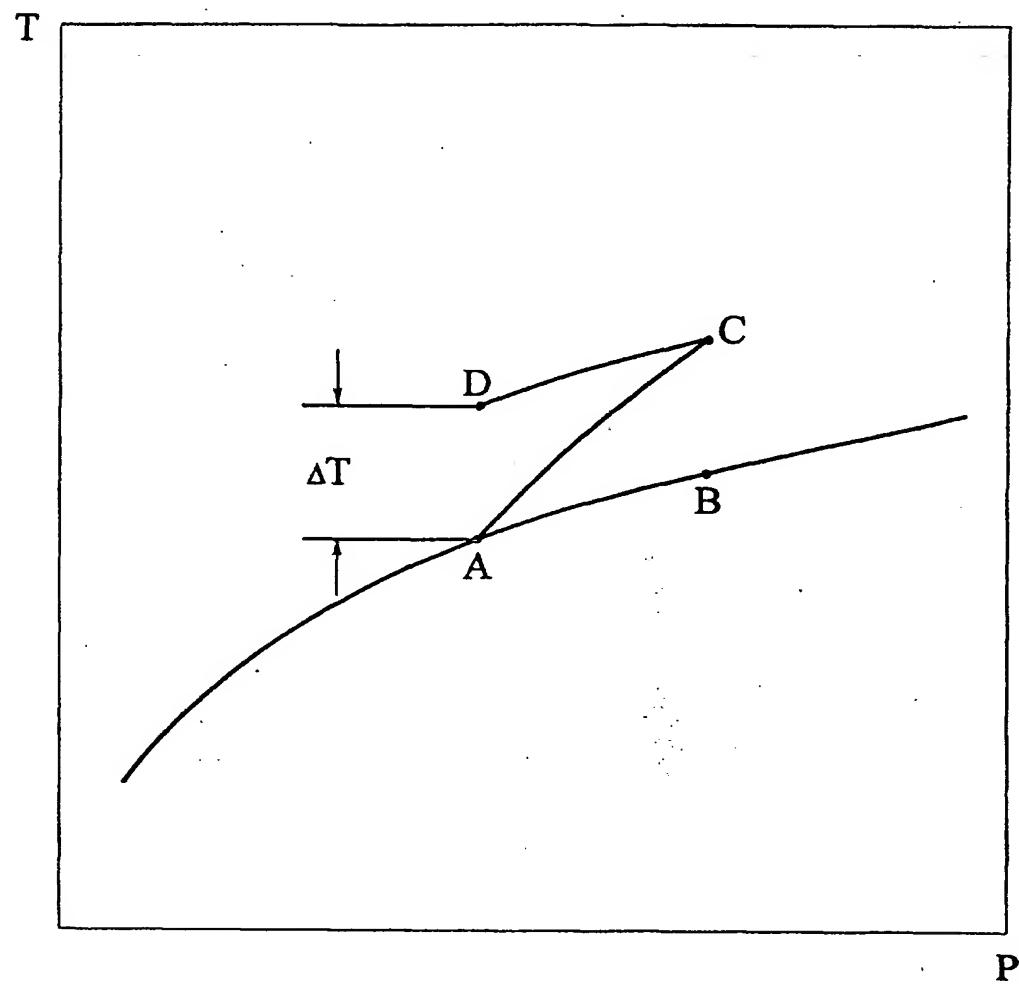


Fig. 2